自然环境中地面温度对亚洲小车蝗体温的影响

程雨蒙[1,2]， 张 艳[2,3]， 王广君[4]， 郭传友[1*]， 李红梅[2,5*]

(1. 淮北师范大学生命科学学院，淮北 235000；2. 中国农业科学院植物保护研究所，农业农村部-CABI生物联合实验室，北京 100193；3. 甘肃农业大学植物保护学院，兰州 730070；4. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；5. CABI东亚中心，北京 100081)

摘要 为了解白天地面温度对亚洲小车蝗体温的影响，2017年7月和2018年6—8月在内蒙古锡林郭勒盟的自然生境中6个地点开展了调查。结果表明：亚洲小车蝗的平均体温随地温变化，且在6:00—12:00和16:00—19:00内高于平均地温。地温与不同龄期和性别亚洲小车蝗体温之间呈极显著的非线性关系($P<0.01$)。体温只出现一次高峰，13:00左右的(39.3±0.2)℃；地温出现2次高峰，13:00左右的(42.0±0.5)℃和15:00左右的(38.9±0.4)℃。地温为31.5～38.3℃时，成虫的体温调节能力显著强于蝗蝻($P<0.05$)；地温低于31.5℃和38.3～48.2℃时，蝗蝻的体温调节能力显著强于成虫($P<0.05$)。地温为26.1～40.0℃，雌虫的体温调节能力显著强于雄虫($P<0.05$)；地温高于40.0℃，雄虫的体温调节能力显著强于雌虫($P<0.05$)。因此，地温可以作为监测该虫生长发育的因子为其防控提供依据。

关键词 亚洲小车蝗； 体温调节； 体温； 地面温度

中图分类号： Q 968 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2018499

Effect of ground surface temperature on body temperature of *Oedaleus decorus asiaticus* under natural habitat

CHENG Yumeng[1,2]， ZHANG Yan[2,3]， WANG Guangjun[4]， GUO Chuanyou[1]， LI Hongmei[2,5]

(1. *College of Life Science, Huaibei Normal University, Huaibei* 235000, *China*; 2. *MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 3. *College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*; 4. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 5. *CABI East Asia, Beijing* 100081, *China*)

Abstract To study the relationship between ground surface temperature and body temperature of *Oedaleus decorus asiaticus* (Orthoptera: Oedipodidae), we conducted surveys at 6 different locations in the natural grassland habitat of Xilingol league, Inner Mongolia Autonomous Region in July 2017 and June to August 2018. The results showed that average body temperature of *O. decorus asiaticus* followed the changes in ground surface temperature, but a slightly higher temperature level from 6:00 to 12:00, and from 16:00 to 19:00. There was a significant nonlinear regression ($P<0.01$) between the ground surface temperature and the body temperature of *O. decorus asiaticus* regardless of development stages or sex. The highest average body temperature appeared with (39.3±0.2)℃ at approximately 13:00, while there were two peaks of the ground surface temperature with (42.0±0.5)℃ and (38.9±0.4)℃ at approximately 13:00 and 15:00 respectively. When the ground surface temperature was between 31.5℃ and 38.3℃, the grasshopper adults had significantly stronger thermoregulation ability than the nymphs ($P<0.05$). When the ground surface temperature was below 31.5℃, between 38.3℃ and 48.2℃, the grasshopper nyphms had significantly stronger thermoregulation ability than the adults ($P<0.05$). When the ground surface temperature was between 26.1℃ and 40.0℃, the female grasshoppers had significantly stronger thermoregulation ability than the males ($P<0.05$). When the ground surface temperature was above 40.0℃, the male grasshoppers had

收稿日期： 2018-12-05 **修订日期**： 2019-01-22
基金项目： 英国牛顿农业技术基金(ST/N006712/1,ST/N006836/1,ST/N006852/1)；国家自然科学基金国际合作项目(61661136004)
* 通信作者 E-mail:h.li@cabi.org;chyguo@126.com

significantly stronger thermoregulation ability than the females ($P<0.05$). We concluded that the ground surface temperature can be a key factor to monitor the development of *O. decorus asiaticus* to plan management activities.

Key words *Oedaleus decorus asiaticus*; thermoregulation; body temperature; ground surface temperature

亚洲小车蝗 *Oedaleus decorus asiaticus* 主要分布在内蒙古、甘肃、青海等北方省(区),与其他草原蝗虫相比,暴发时间早、发生数量大,可使牧草减产 50%以上[1-2]。该虫是我国北方草原及农牧交错区最主要的害虫之一,主要取食 12 种左右的草类,如大针茅 *Stipa grandis*、羊草 *Leymus chinensis*、糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa* 等禾本科牧草[3]。草原牧草被蝗虫啃食后,草场一片枯黄,禾本科、莎草科类型的草地地表出现大面积裸露,这不仅给畜牧业可持续发展造成严重影响,还给当地生态环境带来不良后果[4]。

变温动物的体温常受到自身生理因素和所处环境的生态因素影响[5-8],体温能直接影响它们的生殖活动、发育速度、身体大小等[9-10]。Woods[11]发现烟草天蛾 *Manduca sexta* 幼虫随着体长的增加能够使自身体温增加 3～5℃;Gunn[12]的研究表明非洲黏虫 *Spodoptera exempta* 黑色幼虫的体温升高明显比绿色的快。刘银民等[13]研究发现在自然生境中东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 的体温受地面温度的影响最大。在自然环境中,部分变温动物可以通过自身的调节行为使体温维持在一定的范围内以期更好的生存[14-15]。褐飞蝗 *Locustana pardalina* 通过改变身体的姿势和选择不同的生境等方式来调节其体温并保持在 38～41℃[16]。沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 通过选择晒太阳或温暖的栖息地等方式来保持适宜的体温[17]。

本试验以亚洲小车蝗为研究对象,在草原生境中开展相关工作,研究地面温度对亚洲小车蝗体温的影响,以期了解自然条件下,蝗蝻和成虫以及不同性别的亚洲小车蝗对地面温度变化的响应,进而掌握其生长发育特性,为发生期预测预报和有效防控提供依据。

1　材料与方法

1.1　调查区域概况

锡林郭勒盟位于内蒙古自治区,北纬 41°34′至 46°52′,东经 111°9′至 120°0′之间;其草原面积约 20.3 万 km^2,是世界闻名的大草原之一[18]。干旱少雨是该区域气候的典型特征,年降水量约 350～450 mm,降水集中于 6－9 月。该区域植被类型复杂多样,以羊草、克氏针茅 *S. krylovii* 和大针茅等为优势草种;大约有 7 科 31 属 59 种蝗虫,其中亚洲小车蝗是该区的主要优势种之一,通常占蝗虫种群的 50%以上,在严重发生时可达 90%以上[19-21]。

1.2　调查地点及时间

亚洲小车蝗体温调查地点选择植物长势良好,且羊草、克氏针茅和大针茅等优势植物所占面积大的区域,分别为九曲湾旅游区(E116°6′50″～E116°8′59′,N43°49′17″～N43°50′25″)、锡林水库(E116°5′27″～E116°53′31″,N43°50′49″～N43°50′57″)、平顶山(E116°7′13″～E116°8′22″,N43°34′55″～N43°40′31″)、三十一团巴彦锡勒(E116°19′48″～E116°19′51″,N43°55′4″～N43°55′8″)、塔根(E116°29′1″～E116°49′4″,N43°17′9″～N43°29′3″)和塔拉变电站(E116°16′42″～E116°16′43″,N44°3′24″～N44°3′38″)。其中塔根和塔拉变电站在 2018 年暴发了亚洲小车蝗,为新增调查点。2017 年和 2018 年的调查日期分别为 7 月 15 日－7 月 29 日和 6 月 18 日－8 月 16 日,共调查 26 次,调查时间为 5:00－20:00 左右。

1.3　调查方法

采用徒手或者捕虫网随机捕捉亚洲小车蝗的蝗蝻和成虫,然后立即用 HHF81 型手持式数字温度仪配备欧米茄热电偶(0.125 mm)(美国欧米茄仪器仪表有限公司)测量其体温。测量时,先用直径 0.25 mm注射器针头在蝗虫前胸腹板右上方扎 1 小孔,随后插入热电偶,待读数稳定后记录体温数据(体温,Tb),测定后将其放回到自然生境中。同时测量、记录亚洲小车蝗捕捉地点的地面温度(地温,Tg),并记录捕捉的时间、龄期和性别等信息。为保证调查时间范围内每小时都有体温数据,采用测量 30 min,休息 30 min 的方式;由于调查地点小车蝗种群密度的差异,每小时测量数量在 1～71 头。2017 年和 2018 年共测试 3 767 头亚洲小车蝗,其中蝗蝻 790 头,成虫 2 977 头。

1.4　数据统计分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件,用 One-way ANOVA 进行单因素方差分析。首先将捕捉时间进

行转换，只保留小时部分；然后对地温与体温进行二次项曲线拟合，无体温调节用 $Tb=Tg$ 的等温线表示[22]；所有描述性统计值均用平均值±标准误。用 GraphPad Prism 5 作图。

2 结果与分析

2.1 亚洲小车蝗在白天的体温动态

统计结果表明：在调查时间范围内，亚洲小车蝗的平均体温随地温的升高而升高，随地温的降低而降低（图 1）；平均体温在 6:00－12:00 和 16:00－19:00 内均高于平均地温。地温出现了 2 次高峰，分别是 13:00 左右的（42.0±0.5）℃和 15:00 左右的（38.9±0.4）℃，此时，亚洲小车蝗的平均体温分别为（39.3±0.2）℃和（37.2±0.2）℃，其中 13:00 左右是最高体温时段。在 5:00 左右，亚洲小车蝗平均体温最低，为（21.9±0.4）℃，低于地温的（23.9±0.4）℃。在 7:00 左右，亚洲小车蝗平均体温（29.8±0.6）℃与地温（25.8±0.6）℃之间的温差达到最大值，约为 4.0℃。

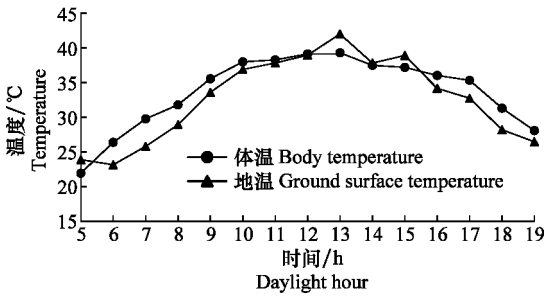

图 1 亚洲小车蝗白天的平均体温与地温随时间的变化

Fig. 1 The average body temperature for *Oedaleus decorus asiaticus* and ground surface temperature during daylight

2.2 地温对不同发育阶段亚洲小车蝗体温的影响

试验结果表明，亚洲小车蝗蝗蝻与成虫的体温与地温之间均为非线性关系，但变化趋势不一致。地温与蝗蝻体温的拟合方程为 $Tb=-0.011Tg^2+1.278Tg+5.505$（$R^2=0.667$，$P<0.01$），与等温线 $Tb=Tg$ 的交点为 38.3℃。地温与成虫体温的拟合方程为 $Tb=-0.030Tg^2+2.792Tg-23.338$（$R^2=0.798$，$P<0.01$），与等温线 $Tb=Tg$ 的交点为 40.5℃和 19.2℃（图 2）。

当地温低于 31.5℃，蝗蝻的体温调节能力显著强于成虫（$P<0.05$）；当地温在 31.5～38.3℃，成虫的体温调节能力显著强于蝗蝻（$P<0.05$）；当地温在 38.35～48.2℃，蝗蝻的体温调节能力显著强于成虫（$P<0.05$）；当地温高于 48.2℃，蝗蝻的体温调节能力强于成虫，但差异不显著（$P>0.05$）。

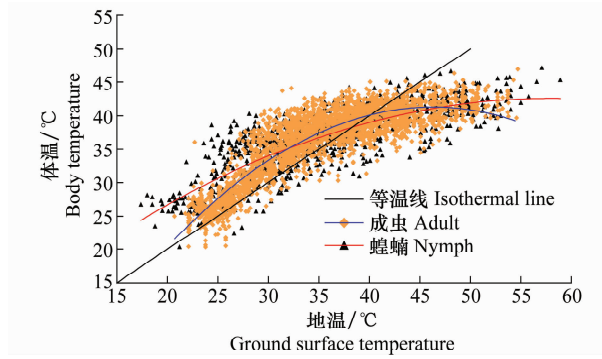

图 2 亚洲小车蝗成虫与蝗蝻体温与地温的拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve of body temperature and ground surface temperature of adult and nymph of *Oedaleus decorus asiaticus*

2.3 地温对不同性别亚洲小车蝗体温的影响

试验结果表明，不同性别亚洲小车蝗体温与地温之间均为非线性关系，变化趋势十分相似。地温与雌虫（$n=1\,799$）体温的拟合方程为 $Tb=-0.025Tg^2+2.422Tg-16.209$（$R^2=0.749$，$P<0.01$），与等温线 $Tb=Tg$ 的交点为 41.1℃和 15.8℃。地温与雄虫（$n=1\,968$）体温的拟合方程为 $Tb=-0.021Tg^2+2.109Tg-10.764$（$R^2=0.763$，$P<0.01$），与等温线 $Tb=Tg$ 的交点为 40.0℃和 12.8℃（图 3）。

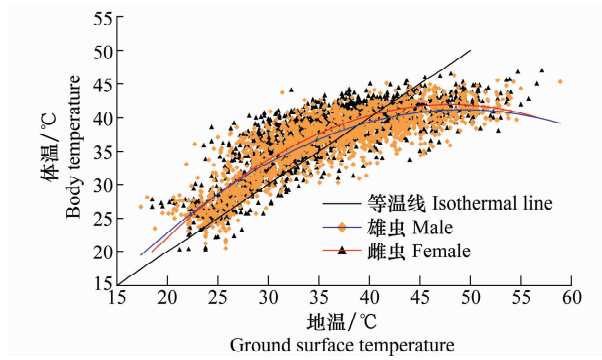

图 3 亚洲小车蝗雌虫与雄虫体温与地温的拟合曲线

Fig. 3 Fitting curve of body temperature and ground surface temperature of female and male of *Oedaleus decorus asiaticus*

当地温低于 26.1℃，雄虫的体温调节能力强于雌虫，但差异不显著（$P>0.05$）；当地温为 26.1～40.0℃，雌虫的体温调节能力显著强于雄虫（$P<0.05$）；当地温高于 40.0℃，雄虫的体温调节能力显著强于雌虫（$P<0.05$）。

3　讨论

试验发现亚洲小车蝗的平均体温随着地温的升高而升高,随地温的降低而降低,且在 6:00－12:00 和 16:00－19:00 内均高于地面平均温度。这与昆虫在自然生境中的体温变化趋势一致[11,13,16,23]。调查过程中发现,上午亚洲小车蝗有在裸露地面上晒太阳的行为,其体温主要受到地温的影响。塞内加尔小车蝗 *O. senegalensis* 也表现出晒太阳的行为,清晨时,其头总是向着东方来获取更适宜的温度[24]。在草原上,地面经历了整个夜晚,其温度较低。当太阳升起时,地温升高速度较快,而亚洲小车蝗需要适应的时间来使其体温升高,在 5:00 左右时亚洲小车蝗的体温最低且低于地温。在地温的两次高温峰值时段内,亚洲小车蝗的体温低于地温。这与姚君明[25]研究发现东亚飞蝗在辐射温度高于 50℃,蝗虫开始烦躁,体温明显低于环境温度一致。

昆虫体温与环境温度的关系包括呈非线性关系的行为性体温调节和体温趋近环境温度呈线性关系的无行为性体温调节[26-27]。如臭腹腺蝗 *Zonocerus variegatus*、蔗蝗 *Hieroglyphus daganensis* 成虫属于无行为性体温调节[26,28],东亚飞蝗、褐飞蝗、摩洛哥戟纹蝗 *Dociostaurus maroccanus* 成虫等属于行为性体温调节[16,26-27]。但是关于亚洲小车蝗体温与地温的关系尚未见报道。本试验结果表明,亚洲小车蝗无论是蝗蝻还是成虫,雌虫还是雄虫与地温均呈现非线性关系,即具有行为性体温调节能力。当地面温度低于 31.5℃,蝗蝻的体温调节能力显著强于成虫。这与东亚飞蝗在恒温 18～30℃的条件下,低龄蝗蝻比高龄蝗蝻和成虫具有更强的体温调节能力[29]相类似。当地温为 31.5～38.3℃时,亚洲小车蝗成虫的体温调节能力显著强于蝗蝻。这与岳梅等[27]发现东亚飞蝗成虫在环境温度为 30.2～43.9℃时,体温调节能力强于蝗蝻相类似。

亚洲小车蝗不同性别体温变化趋势研究相对较少。研究发现在自然生境中,不同性别的蝗虫体温变化趋势十分相似。任金龙等[30]发现意大利蝗 *Calliptamus italicus* 在环境温度为 30～38℃时,雄成虫体温高于雌成虫;而亚洲小车蝗实测雌虫体温高于雄虫,并且雌虫的体温调节能力显著强于雄虫。当环境温度在 38～48℃范围内,意大利蝗雌成虫体温高于雄成虫温度;而亚洲小车蝗实测雄虫体温高于雌虫,且雄虫的体温调节能力显著强于雌虫。两种蝗虫体温调节能力均随环境温度变化呈现出波动,但变化趋势不一致,这可能与所处的生境和自身调节能力有关。

参考文献

[1] 许富祯,孟正平,郭永华,等. 乌兰察布市农牧交错区亚洲小车蝗发生与防治[J]. 北方农业学报,2005(7):384－387.

[2] 潘建梅. 内蒙古草原蝗虫发生原因及防治对策[J]. 中国草地学报,2002,24(6):66－69.

[3] 康乐,陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究[J]. 昆虫学报,1994,37(2):178－189.

[4] 李万春,张连庆,贾晓玲,等. 对草原蝗虫防治工作的几点认识[J]. 植物保护,2004,30(3):84－85.

[5] 黄冠辉,龙庆成. 东亚飞蝗飞翔时的体温变化[J]. 昆虫学报,1962,11(4):419－421.

[6] THOMAS M B, BLANFORD S. Thermal biology in insect-parasite interactions[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18(7): 344－350.

[7] DIGBY P S B. Factors affecting the temperature excess of insects in sunshine [J]. Journal of Experimental Biology, 1955, 32(2): 279－298.

[8] 胡凌君,杜卫国. 多疣壁虎的体温调节及运动能力热依赖性[J]. 动物学报,2007,53(2):227－232.

[9] HAGSTRUM D W, LEACH C E. Role of constant and fluctuating temperatures in determining development time and fecundity of three species of stored-products Coleoptera [J]. Annals of the Entomological Society of America,1973,66(2):407－410.

[10] WHITMAN D W. Developmental thermal requirements for the grasshopper *Taeniopoda eques* (Orthoptera: Aerididae)[J]. Annals of the Entomological Society of America,1986,79(4): 711－714.

[11] WOODS H A. Ontogenetic changes in the body temperature of an insect herbivore [J]. Functional Ecology,2013,27(6):1322－1331.

[12] GUNN A. The determination of larval phase coloration in the African armyworm, *Spodoptera exempta* and its consequences for thermoregulation and protection from UV light [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata,1998,86(2):125－133.

[13] 刘银民,阳积文,范春斌,等. 调控东亚飞蝗体温的主要环境因子分析[J]. 植物保护学报,2018,45(6):1296－1301.

[14] MAY M L. Body temperature and thermoregulation of the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1982, 31(4): 413－420.

[15] HUEY R B, KINGSOLVER J G. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance [J]. Trends in Ecology and Evolution,1989,4(5):131－135.

[16] BLANFORD S, THOMAS M B. Thermal behavior of two acridid species: effects of habitat and season on body temperature and the potential impact on biocontrol with pathogens [J]. Environmental Entomology,2000,29(5):1060－1069.

(下转 74 页)

[11] BOEREMA G H, DE GRUYER J, NOORDELOOS M E, et al. *Phoma* identification manual [M]. CABI publishing, 2004.
[12] AVESKAMP M M, VERKLEY G J M, DE GRUYTER J, et al. DNA phylogeny reveals polyphyly of *Phoma* section Peyronellaea and multiple taxonomic novelties [J]. Mycologia, 2009, 101: 363 - 382.
[13] AVESKAMP M M, DE GRUYTER J, WOUDENBERG J H C, et al. Highlights of the Didymellaceae: A polyphasic approach to characterise *Phoma* and related pleosporalean genera [J]. Studies in Mycology, 2010, 65: 1 - 60.
[14] CHEN Qian, JIANG J R, ZHANG G Z, et al. Resolving the *Phoma enigma* [J]. Studies in Mycology, 2015, 82: 137 - 217.
[15] CHEN Q, HOU L W, HOU W J, et al. Didymellaceae revisited [J]. Studies in Mycology, 2017, 87: 105 - 159.
[16] CAMPBELL W P. The influence of associated microorganisms on the pathogenicity of *Helminthosporium sativum* [J]. Canadian Journal of Botany, 1956, 34: 865 - 874.
[17] MERCIER J, REELEDER R D. Interactions between *Sclerotinia sclerotiorum* and other fungi on the phylloplane of lettuce [J]. Canadian Journal of Botany, 1987, 65(8): 1633 - 1637.
[18] MELGAREJO P, CARRILLO R, SAGASTA E. Potential for biological control of *Monilinia laxa* in peach twigs [J]. Crop Protection, 1986, 5(6): 422 - 426.
[19] 李宝年, 徐树辉, 杨传波, 等. 樟子松枯梢病拮抗真菌的筛选 [J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(5): 97 - 99.
[20] STOKHOLMA M S, WULFFB E G, ZIDAC E P, et al. DNA barcoding and isolation of vertically transmitted ascomycetes in sorghum from Burkina Faso: *Epicoccum sorghinum* is dominant in seedlings and appears as a common root pathogen [J]. Microbiological Research, 2016, 191: 38 - 50.
[21] RISTIĆ D, STANKOVIĆ I, VUČUROVIĆ A, et al. *Epicoccum nigrum* the new pathogen of sorghum seed in Serbia [J]. Ratarstvo I Povrtarstvo, 2012, 49(2): 160 - 166.
[22] WU Di, ZHANG Danhua, TIMKO M P, et al. First report of *Epicoccum nigrum* causing brown leaf spot of loquat in Southwestern China [J]. Plant Disease, 2017, 101(8): 1553.
[23] 方中达. 植病研究方法[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1998.
[24] WHITE T J, BRUNS T, LEE S, et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics [M]// INNIS M A, GELFAND D, SNINSKY J J, et al. PCR Protocols: a guide to methods and applications. San Diego, California, USA: Academic Press, 1990: 315 - 322.
[25] SUNG G H, SUNG J M, HYWEL-JONES N L, et al. A multi-gene phylogeny of *Clavicipitaceae* (Ascomycota, Fungi): identification of localized incongruence using a combinational bootstrap approach [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2007, 44: 1204 - 1223.
[26] DE GRUYTER J, NOORDELOOS M E. Contributions towards a monograph of *Phoma* (Coelomycetes)-I. 1. Section *Phoma*: Taxa with conidia very small conidia *in vitro* [M]. Rijksherbarium / Hortus Botanicus, Leiden, Volume 15, Part 1, 1992: 71 - 92.
[27] LIU Y J, WHELEN S, HALL B D. Phylogenetic relationships among ascomycetes evidence from an RNA polymerase II subunit [J]. Molecular Biology and Evolution, 1999, 16: 1799 - 1808.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 67 页)

[17] ARTHURS S, THOMAS M B. Effect of dose, pre-mortem host incubation temperature and thermal behaviour on host mortality, mycosis and sporulation of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* in *Schistocerca gregaria* [J]. Biocontrol Science and Technology, 2001, 11(3): 411 - 420.
[18] 李政海, 鲍雅静, 王海梅, 等. 锡林郭勒草原荒漠化状况及原因分析[J]. 生态环境学报, 2008, 17(6): 2312 - 2318.
[19] 郭元朝. 内蒙古锡林郭勒盟草原蝗虫发生危害及其防治对策 [J]. 草原与草业, 2007, 19(3): 30 - 33.
[20] 仝川, 郗风江, 杨景荣, 等. 锡林河流域中游草原植被退化遥感监测及合理放牧强度的确定[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 78 - 83.
[21] 刘玲, 郭安红. 2004 年内蒙古草原蝗虫大发生的气象生态条件分析[J]. 气象, 2004, 30(11): 55 - 57.
[22] 徐骁骁, 孙清琳, 刘鹏, 等. 环境温度对黑龙江草蜥体温及生理体温调节能力的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 447 - 451.
[23] BLANFORD S, THOMAS M B, LANGEWALD J. Thermal ecology of *Zonocerus variegatus* and its effects on biocontrol using pathogens [J]. Agricultural and Forest Entomology, 2000, 2(1): 3 - 10.
[24] BLANFORD S, THOMAS M B, LANGEWALD J. Behavioural fever in the Senegalese grasshopper, *Oedaleus senegalensis*, and its implications for biological control using pathogens [J]. Ecological Entomology, 1998, 23(1): 9 - 14.
[25] 姚君明. 东亚飞蝗体温调节特性及其对绿僵菌致病性影响的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
[26] KLASS J I, BLANFORD S, THOMAS M B. Development of a model for evaluating the effects of environmental temperature and thermal behaviour on biological control of locusts and grasshoppers using pathogens [J]. Agricultural and Forest Entomology, 2007, 9(3): 189 - 199.
[27] 岳梅, 雷仲仁, 朱彬洲, 等. 东亚飞蝗耐高温能力及其体温调节行为[J]. 昆虫学报, 2009, 52(10): 1103 - 1109.
[28] ANDERSON R V, TRACY C R, ABRAMSKY Z. Habitat selection in two species of short-horned grasshoppers. The role of thermal and hydric stresses [J]. Oecologia, 1979, 38(3): 359 - 374.
[29] 涂雄兵. 绿僵菌侵染对东亚飞蝗发育的影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
[30] 任金龙, 赵莉, 赵炎, 等. 意大利蝗对温度耐受力的初探[J]. 草业科学, 2015, 32(2): 274 - 280.

(责任编辑: 田 喆)